

На правах рукописи

Емельянова Наталья Александровна

**ТЕОРЕТИКО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД
В ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКОГО БЕСПОРЯДКА
В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ**

01.04.02 – Теоретическая физика

**Автореферат
на соискание ученой степени кандидата
физико–математических наук**

Казань - 2004

Работа выполнена на кафедре теоретической физики Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский государственный педагогический университет".

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Юльметьев Ренат Музипович

Научный консультант: доктор физико-математических наук,
доцент Хуснутдинов Наиль Рустамович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Овчинников Игорь
Васильевич

доктор физико-математических наук,
профессор Зарипов Ринат Герфанович

Ведущая организация: Государственный центр Российской
Федерации – Научно-исследовательский
физико-химический институт
им. Л.Я. Карпова (г. Москва)

Защита состоится _____ 2004 года в _____ на заседании
диссертационного совета Д 212.081.15 при Казанском государственном университете имени В.И. Ульянова-Ленина по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им.
Н.И. Лобачевского Казанского государственного университета.

Автореферат разослан _____ 2004 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук, профессор

Еремин М.В.

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. В последние годы в развитии статистической физики наблюдается бурный рост прикладных исследований в междисциплинарных областях. Особый интерес представляют исследования статистических свойств реальных сложных систем. С одной стороны это объясняется интенсивными приложениями методов статистической физики в химии, биологии, физиологии, медицине, психологии и других естественно-научных исследованиях. С другой стороны, неуклонно растут потребности в таких исследованиях различных областей современного естествознания, технологии и производства.

В связи с этим неоднократно предпринимаются попытки преодоления трудностей, связанных с исследованиями сложных систем. Общепринятые методы теоретической физики оказываются неэффективными для сложных систем, когда отсутствует гамильтониан, и определяющую роль играют свойства дискретности, нестационарности и стохастичности. Существуют различные подходы учета хаотичности таких систем¹, в основном они опираются на методы и подходы статистической физики равновесных и неравновесных систем, нелинейной динамики, теории непрерывных и дискретных отображений, теории классического и квантового хаоса и др. Разными авторами в разное время для исследования сложных систем были ис-

¹Пригожин И. *Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций*/ И. Пригожин, П. Гленсдорф/ Пер. с англ. – 2-е изд., – М.: ФАЗИС, 2003. – 280 с.; Эткинс П. *Порядок и беспорядок в природе*/ П. Эткинс/ Пер. с англ., – М.: ФАЗИС, 1987. – 224 с.; Badii R. *Complexity*/ R. Badii, A. Politi. – Cambridge University Press, 1999. – 332 p.; Ott E. *Chaos in Dynamical Systems*/ E. Ott – Cambridge University Press, 1993. – 397 p. и др.

пользованы различные обобщения энтропий². Широкое применение методов теоретической физики затрудняется тем, что в приложении к реальным сложным системам недостаточно эффективно развиты информационные методы динамического анализа негамильтоновых систем различной природы.

Цель работы состоит в развитии нового теоретико-информационного динамического подхода к информационной энтропии Шеннона с учетом временных корреляций на различных релаксационных уровнях динамической сложной системы. В работе была поставлена задача проведения динамического обобщения информационной энтропии Цаллиса на случай стохастических каналов рождения и уничтожения корреляций (памяти) и изучения роли параметра неэкстенсивности q в описании стохастической эволюции сложной системы. Практическая цель работы состояла в приложении разработанного подхода к описанию модельных физических систем и построении практических методов анализа свойств динамического беспорядка в реальной сложной системе.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. В работе развит новый теоретико-информационный динамический подход к информационной энтропии Шеннона. Получено выражение для статистического спектра динамической информационной энтропии Шеннона, в котором учитываются временные корреляции на различных релаксационных уровнях динамической сложной системы. Использование динамической энтропии Шеннона поз-

²Прангишвили И.В. *Энтропийные и другие системные закономерности*/ И.В. Прангишвили. – М.: Наука, 2003. – 428 с.; Beck C. *Thermodynamics of Chaotic Systems*/ C. Beck, F. Schlogl. – Cambridge University Press, 1995. – 306 p.; Tsallis C. *Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics*/ C. Tsallis // J. Stat. Phys. - 1988. Vol. **52**, - №1/2. P. 479-487 и др.

воляет получить более подробное описание стохастической эволюции сложной системы на основе непосредственно измеряемых экспериментальных данных.

2. Проведено динамическое обобщение информационного подхода Цаллиса на случай двух каналов стохастической эволюции: рождения и уничтожения корреляций (памяти). Показано, что параметр неэкстенсивности Цаллиса q играет роль нелинейной линзы, выделяющей либо мелкомасштабные, либо крупномасштабные корреляции флуктуаций, а также выявляющей характерные флуктуации из зашумленного сигнала.

3. Разработаны вычислительные алгоритмы нахождения статистических и частотных спектров параметров немарковости для каналов рождения и уничтожения временных корреляций на основе предложенного теоретического подхода к информационной динамической энтропии Цаллиса и Шеннона.

4. На основе разработанного теоретико-информационного подхода предложен новый информационный способ описания модельных физических систем: движение броуновского осциллятора как с наличием шума, так и без него, флуктуации плотности в гидродинамическом пределе и в идеальном газе.

5. На основе теоретического анализа, количественных расчетов и вычислений предложен новый метод анализа и диагностики свойств динамического беспорядка в реальной сложной системе. Метод позволяет находить тонкие детали во временном и частотном поведении динамической информационной энтропии, ее отдельных каналов и статистическом параметре немарковости.

Научная ценность и практическая значимость состоит в разработке нового теоретического подхода к информационным эн-

тропиям Шеннона и Цаллиса. Разработанные в работе теоретические методы позволяют вычислять статистический спектр динамических информационных энтропий Шеннона и Цаллиса, их частотные спектры мощности, статистический и частотный спектры параметра немарковости для двух каналов стохастической эволюции сложной системы непосредственно из экспериментальных временных серий. Полученные результаты позволяют получить более подробное описание стохастической эволюции сложной системы, исследовать свойства статистической памяти, динамического беспорядка, мелко- и крупномасштабные корреляции флуктуаций в модельных физических и реальных сложных системах.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработан новый теоретико-информационный динамический подход к информационной энтропии Шеннона, позволяющий на основе учета временных корреляций получать подробное описание стохастической эволюции сложной системы на различных релаксационных уровнях.
2. Проведено обобщение информационного подхода Цаллиса на динамический случай двух каналов стохастической эволюции и определена роль параметра неэкстенсивности q в исследованиях динамического поведения сложных систем.
3. Разработаны вычислительные алгоритмы нахождения статистических и частотных параметров и характеристик динамического порядка и беспорядка в сложных статистических системах, основанные на представлении о параметре немарковости и временах релаксации, связанных с динамическими информационными энтропиями.
4. Предложен новый информационный способ описания свойств простых модельных физических и реальных сложных систем.

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и школах:

1. Международная конференция UPoN 2002: Third International Conference on Unsolved Problems of Noise and Fluctuations in Physics, Biology, and High Technology, (США, г. Вашингтон, Бетезда, 2002),
2. Международная школа Nonlinear Dynamics and Complex Systems, (Белоруссия, г. Минск, БГУ, 2002),
3. Всероссийская конференция Необратимые процессы в природе и технике, (г. Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001, 2003),
4. Всероссийский семинар Флуктуации и шумы в сложных системах, (г. Казань, КГПУ, 2003, 2004),
5. Всероссийская конференция с международным участием Новые биокрибернетические и телемедицинские технологии 21 века, (г. Петрозаводск, ПетрГУ, 2003),
6. Всероссийская конференция Инженеринг в медицине. Медленные процессы гемодинамики: Пульсация и флуктуация сердечно-сосудистой системы, (Челябинская область, г. Миасс, 2000),

а также на научных семинарах кафедр теоретической физики КГПУ и КГУ.

Полученные результаты были включены в отчеты по грантам РФФИ (№ 02-02-16146, 03-02-96250), РГНФ (№ 03-06-00218а), Министерства образования РФ (№ Е 02-3.1-538), НИОКР АН РТ (№ 06-6.6-221).

Публикации. Список публикаций автора по теме диссертации включает 15 опубликованных и 1 принятую к публикации статей и тезисов в международных (США, Голландия) и российских журналах, сборниках статей и тезисов докладов (см. список литературы).

Личный вклад автора. Автору принадлежат теоретические вычисления динамических информационных энтропий Шеннона и Цаллиса, апробация такого подхода на модельных физических системах и приложение ее к исследованию свойств сложных систем на примере сердечно-сосудистой системы человека (разработка компьютерных программ и вычислительных алгоритмов численного исследования реальных сложных систем; получение графиков и численных параметров на основе предложенной теории для конкретных сложных систем в кардиологии, психологии, нейрофизиологии; обсуждение полученных результатов). Автору принадлежит оригинальная идея исследования сенсомоторной координации человека, сбор данных, проведение их исследования с помощью теории, разработанной соавторами.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, двух приложений, заключения и списка литературы. Работа изложена на 161 странице, включая рисунки, таблицы и список литературы из 153 наименований.

Основное содержание диссертации

Во введении аргументируется актуальность исследуемой проблемы, обосновывается научная и практическая значимость работы, формулируются цель исследования и положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору понятия энтропии в термодинамике, статистической физике и сложных системах. Приводится обзор основных моментов кинетической теории немарковских дискретных процессов в сложных системах. Представлен вывод цепочки кинетических конечно-разностных уравнений для временной корреляционной функции и функций памяти для стационарных процессов в

сложных стохастических дискретных немарковских системах. Также приводится концепция обобщенного параметра немарковости.

Во второй главе представлен теоретико-информационный подход к исследованию сложных систем. Обосновывается подход к вероятности состояния как к квадрату модуля временной корреляционной функции $M_n(t)$. Определены два вероятностных канала: рождения и уничтожения корреляций (или памяти) для любого n -го уровня релаксации

$$P_n^c(t) = |M_n(t)|^2, \quad P_n^a(t) = 1 - P_n^c(t) = 1 - |M_n(t)|^2. \quad (1)$$

Общая вероятность для этих статистических каналов удовлетворяет условию нормировки:

$$\sum_i P_n^i(t) = 1, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad i = c, a. \quad (2)$$

Вероятность P_n^c соответствует каналу рождения корреляций (или памяти для более высших уровней релаксации), P_n^a - каналу уничтожения корреляций (или памяти).

Вводится динамическая информационная энтропия Шеннона для двух статистических каналов корреляций

$$S_{m_n}(t) = - \sum_{i=c,a} P_n^i(t) \ln P_n^i(t) = -P_n^c(t) \ln P_n^c(t) - P_n^a(t) \ln P_n^a(t). \quad (3)$$

Общее выражение для информационной энтропии Шеннона для любого уровня релаксации n складывается из двух энтропий, связанных с каналами рождения ($S_n^c(t)$) и уничтожения ($S_n^a(t)$) корреляций

$$\begin{aligned} S_{m_n}(t) &= S_n^c(t) + S_n^a(t) \\ &= -|M_n(t)|^2 \ln |M_n(t)|^2 - (1 - |M_n(t)|^2) \ln (1 - |M_n(t)|^2), \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} S_n^c(t) &= -|M_n(t)|^2 \ln |M_n(t)|^2, \\ S_n^a(t) &= -(1 - |M_n(t)|^2) \ln (1 - |M_n(t)|^2), \end{aligned} \quad (5)$$

и $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Времена релаксации для конкретных численных приложений записываются в следующем виде:

$$\tau_n^c = -\Delta t \sum_{i=1}^N |M_n(t_i)|^2 \ln |M_n(t_i)|^2, \quad (6)$$

$$\tau_n^a = -\Delta t \sum_{i=1}^N \{1 - |M_n(t_i)|^2\} \ln \{1 - |M_n(t_i)|^2\}, \quad (7)$$

$$\tau_n = \tau_n^c + \tau_n^a, \quad (8)$$

где Δt - шаг дискретизации, n - номер уровня ($n=0, 1, 2, 3, \dots$), i - номер измерения ($i=1, 2, \dots, N$).

С учетом такого представления времен релаксации можно записать несколько различных выражений для спектра параметра немарковости: для учета корреляций на соседних уровнях релаксации

$$\varepsilon_n = \frac{\tau_n}{\tau_{n+1}}, \quad (9)$$

для учета корреляций в отдельных каналах стохастической эволюции:

$$\varepsilon_{c_n} = \frac{\tau_n^c}{\tau_{n+1}^c} = \frac{\sum_{i=1}^N |M_n(t_i)|^2 \ln |M_n(t_i)|^2}{\sum_{i=1}^N |M_{n+1}(t_i)|^2 \ln |M_{n+1}(t_i)|^2}, \quad (10)$$

$$\varepsilon_{a_n} = \frac{\tau_n^a}{\tau_{n+1}^a} = \frac{\sum_{i=1}^N (1 - |M_n(t_i)|^2) \ln (1 - |M_n(t_i)|^2)}{\sum_{i=1}^N (1 - |M_{n+1}(t_i)|^2) \ln (1 - |M_{n+1}(t_i)|^2)}, \quad (11)$$

и т.д.

Далее проводится динамическое обобщение информационного подхода Цаллиса на случай двух каналов стохастической эволюции

$$S_{q_n} = \frac{1 - \sum_{i=c,a} (P_n^i)^q}{q - 1} = \frac{1 - [(P_n^c)^q + (P_n^a)^q]}{q - 1}. \quad (12)$$

Таким образом, двухканальная обобщенная динамическая информационная энтропия Цаллиса для любого n -го уровня релаксации

$$S_{q_n}(t) = S_{q_n}^c + S_{q_n}^a = \frac{|M_n(t)|^{2q} + (1 - |M_n(t)|^2)^q - 1}{1 - q}, \quad (13)$$

где

$$S_{q_n}^c = \frac{|M_n(t)|^{2q} - |M_n(t)|^2}{1 - q}, \quad S_{q_n}^a = \frac{(1 - |M_n(t)|^2)^q - 1 + |M_n(t)|^2}{1 - q}. \quad (14)$$

При $q \rightarrow 1$ обобщенная информационная энтропия Цаллиса (13) и энтропии ее отдельных каналов (14) переходят в информационную энтропию Шеннона (4) и два ее стохастических канала (5) соответственно. Подробно рассматриваются свойства показателя неэкстенсивности q и общие аналитические свойства введенных энтропий. Из анализа выражений (4) и (13) хорошо видно, что малые значения q "работают" как увеличительная линза в области малых значений $|M_n(t)|^2$, и наоборот, большие значения q "работают" как уменьшающая линза в области малых значений $|M_n(t)|^2$.

С учетом обобщенной информационной энтропии Цаллиса времени релаксации записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \tau_{q_n}^c &= \int_0^\infty dt S_{q_n}^c(t) = \frac{1}{1 - q} \int_0^\infty dt \{ |M_n(t)|^{2q} - |M_n(t)|^2 \} \\ &= \frac{\Delta t}{1 - q} \sum_{i=1}^N \{ |M_n(t_i)|^{2q} - |M_n(t_i)|^2 \}, \\ \tau_{q_n}^a &= \int_0^\infty dt S_{q_n}^a(t) = \frac{1}{1 - q} \int_0^\infty dt \{ (1 - |M_n(t)|^2)^q - 1 + |M_n(t)|^2 \} \end{aligned} \quad (15)$$

$$= \frac{\Delta t}{1-q} \sum_{i=1}^N \{ (1 - |M_n(t_i)|^2)^q - 1 + |M_n(t_i)|^2 \}, \quad (16)$$

$$\tau_{qn} = \tau_{qn}^c + \tau_{qn}^a = \frac{\Delta t}{1-q} \sum_{i=1}^N \{ |M_n(t_i)|^{2q} + (1 - |M_n(t_i)|^2)^q - 1 \}. \quad (17)$$

Соответствующее обобщение статистического спектра параметра немарковости:

$$\varepsilon_{qn} = \frac{\tau_{qn}}{\tau_{qn+1}} = \frac{\sum_{i=1}^N \{ |M_n(t_i)|^{2q} + (1 - |M_n(t_i)|^2)^q - 1 \}}{\sum_{i=1}^N \{ |M_{n+1}(t_i)|^{2q} + (1 - |M_{n+1}(t_i)|^2)^q - 1 \}}. \quad (18)$$

Для более детального исследования марковских и немарковских свойств сложных систем на всем спектре исследуемых частот предлагается частотное обобщение статистических спектров параметра немарковости

$$\varepsilon_{qn}(\omega) = \sqrt{\frac{s_{q_{n-1}}(\omega)}{s_{qn}(\omega)}}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (19)$$

где $s_{q_{n-1}}(\omega)$ и $s_{qn}(\omega)$ есть частотные спектры мощности обобщенной динамической энтропии Цаллиса для предыдущего и последующего релаксационного уровней (см. S_{qn} в (13) для $n-1$ и n).

В четвертой главе представленный теоретико-информационный подход применяется к анализу динамики модельных физических систем.

В качестве примеров простых моделей исследованы: движение броуновского осциллятора как с наличием шума, так и без него, флуктуация плотности в гидродинамическом пределе и в идеальном газе. Для всех моделей были рассмотрены различные значения параметра q . Из представленных рисунков хорошо видно, что все энтропии имеют такую же структуру нулей и экстремумов, как и квадрат ВКФ, а величина экстремумов существенно зависит от q . Малые

значения q "работают" как нелинейная увеличивающая линза. Чем меньше амплитуда энтропии, тем больше они увеличиваются. Большие значения q действуют как уменьшающая линза. В частотных спектрах энтропий с уменьшением q пики становятся более острыми и более высокими. При наличии шума можно выявить пики в тех местах, где они уже затерялись в шуме.

Для модели броуновского осциллятора приводится вычисление параметра немарковости в аналитическом виде. Показано, что при слабом затухании параметр немарковости $\epsilon_0 = 1$, т.е. процесс является немарковским. Действительно, при малом затухании броуновская частица достаточно долго "помнит" начальное состояние. В противоположном случае сильного затухания параметр немарковости $\epsilon_0 \gg 1$, т.е. процесс является марковским. Вычисление параметра немарковости для такой системы на основе предложенного подхода показало, что параметр немарковости слабо зависит от параметра неэкстенсивности q .

Для идеального газа, используя определение времени релаксации, связанное с энтропией, был вычислен спектр параметра немарковости. Различные параметры немарковости (за исключением ϵ_{qca_n}) близки к единице, т.е., с этой точки зрения процесс релаксации флуктуации плотности в идеальном газе остается немарковским процессом при любых значениях параметра q .

В приложении А приводится пример исследования сложной системы на основе предложенного теоретико-информационного подхода. В качестве сложной системы рассматривается хаотическая динамика RR-интервалов электрокардиограмм (ЭКГ) для двух объектов. Приводятся временные и частотные зависимости функций памяти, динамических информационных энтропий Шеннона и Цаллиса.

Вычисляются статистический и частотный спектры различных параметров немарковости. Показано, что параметр немарковости, вычисленный с учетом динамической энтропии Цаллиса, выступает в роли показателя динамического порядка в сложной системе.

Четкие отличия в значениях изученных параметров для различных объектов говорят об их высокой чувствительности.

В приложении В приводится пример приложения кинетической теории дискретных немарковских стохастических процессов к исследованию динамических свойств сложных систем.

Основные результаты работы

1. В работе развит новый теоретико-информационный динамический подход к информационной энтропии Шеннона. Получено выражение для статистического спектра динамической информационной энтропии Шеннона, в котором учитываются временные корреляции на различных релаксационных уровнях динамической сложной системы. Использование динамической энтропии Шеннона позволяет получить более подробное описание стохастической эволюции сложной системы на основе непосредственно измеряемых экспериментальных данных.

2. Проведено динамическое обобщение информационного подхода Цаллиса на случай двух каналов стохастической эволюции: рождения и уничтожения корреляций (памяти). Показано, что параметр неэкстенсивности Цаллиса q играет роль нелинейной линзы, выделяющей либо мелкомасштабные, либо крупномасштабные корреляции флуктуаций, а также выявляющей характерные флуктуации из зашумленного сигнала.

3. Разработаны вычислительные алгоритмы нахождения статистических и частотных спектров параметров немарковости для ка-

налов рождения и уничтожения временных корреляций на основе предложенного теоретического подхода к информационной динамической энтропии Цаллиса и Шеннона.

4. На основе разработанного теоретико-информационного подхода предложен новый информационный способ описания модельных физических систем: движение броуновского осциллятора как с наличием шума, так и без него, флуктуации плотности в гидродинамическом пределе и в идеальном газе.

5. На основе теоретического анализа, количественных расчетов и вычислений предложен новый метод анализа и диагностики свойств динамического беспорядка в реальной сложной системе. Метод позволяет находить тонкие детали во временном и частотном поведении динамической информационной энтропии, ее отдельных каналов и статистическом параметре немарковости.

**Основное содержание диссертации опубликовано в
следующих работах:**

1. Emelyanova N.A. Intensity approximation of random fluctuation in complex systems / N.A. Emelyanova, R.M. Yulmetyev, F.M. Gafarov, D.G. Yulmetyeva // Physica A. - 2002. - Vol.**303**, - P. 427-438.
2. Emelyanova N.A. Long-range memory and non-Markov statistical effects in human sensorimotor coordination / N.A. Emelyanova, R.M. Yulmetyev, P. Hänggi, F.M. Gafarov, A.O. Prokhorov // Physica A. - 2002. - Vol.**316**, - P. 671-687.
3. Emelyanova N.A. Stratification of the phase clouds and statistical effects of the non-Markovity in chaotic time series of human gait for

- healthy people and Parkinson patients / N.A. Emelyanova, R.M. Yulmetyev, S.A. Demin, F.M. Gafarov, P. Hänggi // *Physica A.* - 2003. - Vol.**319**, - P. 432-446.
4. Emelyanova N.A. Fluctuations and Noise in Stochastic Spread of Respiratory Infection Epidemics in Social Networks / N.A. Emelyanova, R.M. Yulmetyev, S.A. Demin, F.M. Gafarov, P. Hänggi, D.G. Yulmetyeva // *Unsolved Problems of Noise and Fluctuations. AIP conference proceedings.* - 2003. - Vol.**665**, - P. 408-417.
 5. Emelyanova N.A. Non-Markov stochastic dynamics of real epidemic process of respiratory infections / N.A. Emelyanova, R.M. Yulmetyev, S.A. Demin, F.M. Gafarov, P. Hänggi, D.G. Yulmetyeva // *Physica A.* - 2004. - Vol.**331**, - P. 300-318.
 6. Emelyanova N.A. Dynamical Shannon Entropy and Informational Tsallis Entropy in Complex Systems / N.A. Emelyanova, R.M. Yulmetyev, and F.M. Gafarov // *Physica A.* - 2004. - Vol.**341**, - P. 649-676.
 7. Emelyanova N.A. Randomness, Robustness and Statistical Effects of non-Markovity in Stochastic Processes of Academic Student Activity / N.A. Emelyanova, R.M. Yulmetyev, S.A. Demin, V.G. Minkina, F.M. Gafarov // *Nonlinear Phenomena in Complex Systems.* - 2004. - Vol.**7:2**, - P. 177-185.
 8. Emelyanova N.A. Dynamic Tsallis Entropy for Simple Model Systems / N.A. Emelyanova, N.R. Khusnutdinov, R.M. Yulmetyev // *Acta Physica Polonica A.* - 2004 [в печати].
 9. Емельянова Н.А. Разработка и применение информационного метода диагностики динамических состояний человека с помо-

щью информационной шенноновской энтропии / Н.А. Емельянова, Р.М. Юльметьев, Ф.М. Гафаров, Д.Г. Юльметьева // *Инженеринг в медицине. Колебательные процессы гемодинамики. Пульсация и флуктуация сердечно-сосудистой системы*: Сб. науч. тр. - Миасс (Челябинская область), 2000. - С.175-179.

10. Емельянова Н.А. Динамическая диагностика кардиологических заболеваний с помощью дискретных немарковских процессов и статистических эффектов памяти / Н.А. Емельянова, Р.М. Юльметьев, Ф.М. Гафаров, И.А. Латфуллин, Г.П. Ишмурзин // Сборник тезисов конференции *Необратимые процессы в природе и технике*. - МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2001. - С.178-179.
11. Емельянова Н.А. Немарковские процессы в сложных системах живой природы: динамическая диагностика психологических состояний человека / Н.А. Емельянова, Р.М. Юльметьев, А.О. Прохоров, Ф.М. Гафаров // Сборник тезисов конференции *Необратимые процессы в природе и технике*. - МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2001. - С.180-181.
12. Емельянова Н.А. Стратификация фазовых облаков и статистические эффекты немарковости в хаотических временных сериях походки человека / Н.А. Емельянова, С.А. Демин, Р.М. Юльметьев, Ф.М. Гафаров, Д.Г. Юльметьева // Сборник тезисов конференции *Необратимые процессы в природе и технике*. - МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2003. - С.182-184.
13. Емельянова Н.А. Немарковская стохастическая динамика реального эпидемического процесса респираторных заболеваний

человека / Н.А. Емельянова, С.А. Демин, Р.М. Юльметьев, Ф.М. Гафаров, Д.Г. Юльметьева // Сборник тезисов конференции *Необратимые процессы в природе и технике*. - МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2003. - С.184-185.

14. Емельянова Н.А. Флуктуации и шумы в стохастическом пространстве эпидемий респираторных заболеваний в социальных сетях / Н.А. Емельянова, С.А. Демин, Р.М. Юльметьев // Труды конференции *Новые биокibernетические и телемедицинские технологии 21 века*. - ПетрГУ, Петрозаводск, 2003. - С.6.
15. Емельянова Н.А. Хаос и робастность во временных сериях походки человека для здоровых людей и пациентов с болезнью Паркинсона / Н.А. Емельянова, Р.М. Юльметьев, С.А. Демин, Ф.М. Гафаров // Труды конференции *Новые биокibernетические и телемедицинские технологии 21 века*. - ПетрГУ, Петрозаводск, 2003. - С.14-15.
16. Емельянова Н.А. Долговременная память и немарковские статистические эффекты в сенсомоторной координации человека / Н.А. Емельянова, Р.М. Юльметьев // Труды конференции *Новые биокibernетические и телемедицинские технологии 21 века*. - ПетрГУ, Петрозаводск, 2003. - С.42-43.